

04.08.2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

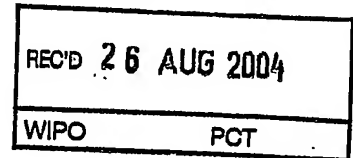
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 6月27日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-185160
[ST. 10/C]: [JP 2003-185160]

出 願 人
Applicant(s): 東京エレクトロン株式会社

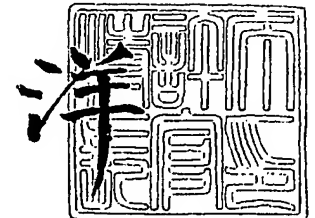


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 7月27日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願

【整理番号】 JPP030086

【提出日】 平成15年 6月27日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 B08B 7/00
H05H 1/04
H05H 1/18
H01L 21/302

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 東京エレクトロン株式
会社内

【氏名】 河南 博

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 東京エレクトロン株式
会社内

【氏名】 田村 登

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 東京エレクトロン株式
会社内

【氏名】 土橋 和也

【特許出願人】

【識別番号】 000219967

【氏名又は名称】 東京エレクトロン株式会社

【代理人】

【識別番号】 100070150

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊東 忠彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 002989

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 プラズマ発生方法、クリーニング方法、基板処理方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ガス入口とガス出口とを備え、周回路を形成するガス通路と

、
前記ガス通路の一部に巻回されたコイルとを有するトロイダル型プラズマ発生装置におけるプラズマ発生方法であって、

前記ガス通路中に、少なくとも 5 % の NF_3 を含む Ar ガスと NF_3 ガスの混合ガスを供給し、前記コイルを高周波電力により駆動してプラズマを着火する工程を含み、

前記プラズマ着火工程は、6.65～66.5 Pa の全圧下において実行されることを特徴とするプラズマ発生方法。

【請求項 2】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を、5 % 以上、45 % 以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ発生方法。

【請求項 3】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を、10 % 以上、45 % 以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 1 または 2 記載のプラズマ発生方法。

【請求項 4】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を、20 % 以上、45 % 以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 1～3 のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法。

【請求項 5】 前記着火工程の後、前記混合ガスの全圧を増大させる工程を含むことを特徴とする請求項 1～4 のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法。

【請求項 6】 前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記前記混合ガス中の NF_3 濃度を一定に保持しながら実行されることを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ発生方法。

【請求項 7】 前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記混合ガス中の NF_3 濃度を変化させながら実行されることを特徴とする請求項 5 記載のプラズ

マ発生方法。

【請求項 8】 前記混合ガスの全圧を増大させる工程の後、前記混合ガスは NF_3 を 50～40% の濃度で含むことを特徴とする請求項 5～7 のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法。

【請求項 9】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、100 SCCM 以下の流量で供給されることを特徴とする請求項 1～8 のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法。

【請求項 10】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、3 SCCM 以上、80 SCCM 以下の流量で供給されることを特徴とする請求項 1～9 のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法。

【請求項 11】 ガス入口とガス出口とを備え、周回路を形成するガス通路と、

前記ガス通路の一部に巻回されたコイルとを有するトロイダル型プラズマ発生装置におけるプラズマ発生方法であって、

前記ガス通路中に、少なくとも 5% の F_2 を含む Ar ガスと F_2 ガスの混合ガスを供給し、前記コイルを高周波電力により駆動してプラズマを着火する工程を含み、

前記プラズマ着火工程は、6.65～66.5 Pa の全圧下において実行されることを特徴とするプラズマ発生方法。

【請求項 12】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 F_2 を 5% 以上、45% 以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 11 記載のプラズマ発生方法。

【請求項 13】 前記着火工程の後、前記混合ガスの全圧を増大させる工程を含むことを特徴とする請求項 11 または 12 記載のプラズマ発生方法。

【請求項 14】 前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記前記混合ガス中の F_2 濃度を一定に保持しながら実行されることを特徴とする請求項 13 記載のプラズマ発生方法。

【請求項 15】 前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記混合ガス中の F_2 濃度を変化させながら実行されることを特徴とする請求項 13 記載のプラ

ズマ発生方法。

【請求項 16】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、100SCCM以下の流量で供給されることを特徴とする請求項 11～14のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法。

【請求項 17】 排気系により排気され、リモートプラズマ源を結合された処理容器のクリーニング方法であって、

前記リモートプラズマ源は、ガス入口とガス出口とを備え、周回路を形成するガス通路と、前記ガス通路の一部に巻回されたコイルとを有するトロイダル型プラズマ発生装置よりなり、

前記クリーニング方法は、前記リモートプラズマ源において、Fを含むラジカルを形成する工程と、

前記ラジカルを前記処理容器内部に供給し、前記ラジカルにより前記処理容器内部をクリーニングする工程とを含み、

前記ラジカルを形成する工程は、

前記ガス通路中に、Arガス中に少なくとも5%の濃度でNF₃またはF₂をクリーニングガスとして含む混合ガスを、プラズマが着火する第1の圧力において供給し、前記コイルを高周波電力により駆動してプラズマを着火する工程と、

前記ガス通路中における前記混合ガスの全圧を、前記プラズマを維持しつつ、第2の圧力まで増大させる工程とを含み、

前記クリーニング工程は、前記第2の圧力において前記処理容器内部をクリーニングすることを特徴とするクリーニング方法。

【請求項 18】 前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記排気系のコンダクタンスを変化させる工程と、前記混合ガスの流量を変化させる工程とを含むことを特徴とする請求項 17記載のクリーニング方法。

【請求項 19】 前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、前記排気系のコンダクタンスと前記混合ガスの流量を同時に変化させながら実行されることを特徴とする請求項 17または18記載のクリーニング方法。

【請求項 20】 前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、前記混合ガスの流量を一定に保持しながら、前記排気系のコンダクタンスを減少させる工程と、

前記全圧を一定の保持しながら前記混合ガスの流量を増大させる工程とを含むことを特徴とする請求項 1 7 または 1 8 記載のクリーニング方法。

【請求項 2 1】 さらに前記排気系のコンダクタンスを最大に保持しながら、前記混合ガスの流量を増大させる工程を含むことを特徴とする請求項 2 0 記載のクリーニング方法。

【請求項 2 2】 前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、複数の質量流量コントローラを切り替える工程を含むことを特徴とする請求項 1 7 ～ 2 1 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法。

【請求項 2 3】 前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記前記混合ガス中の前記クリーニングガス濃度を一定に保持しながら実行されることを特徴とする請求項 1 7 ～ 2 2 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法。

【請求項 2 4】 前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記混合ガス中の前記クリーニングガス濃度を変化させながら実行されることを特徴とする請求項 1 7 ～ 2 2 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法。

【請求項 2 5】 前記クリーニング工程は、前記混合ガス中における NF_3 の濃度を 5 0 ～ 4 0 % に設定して実行されることを特徴とする請求項 1 7 ～ 2 4 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法。

【請求項 2 6】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは 1 0 0 S C C M 以下の流量で供給されることを特徴とする請求項 1 7 ～ 2 5 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法。

【請求項 2 7】 前記混合ガスは前記クリーニングガスとして NF_3 を含み、前記第 1 の圧力は、6 . 6 5 ～ 6 6 . 5 P a に設定されることを特徴とする請求項 1 7 ～ 2 6 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法。

【請求項 2 8】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を前記クリーニングガスとして、5 % 以上、4 5 % 以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 2 7 記載のクリーニング方法。

【請求項 2 9】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を前記クリーニングガスとして、1 0 % 以上、4 5 % 以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 2 7 記載のクリーニング方法。

【請求項 30】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を前記クリーニングガスとして、20%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 27 記載のクリーニング方法。

【請求項 31】 前記混合ガスは F_2 を前記クリーニングガスとして含み、前記第 1 の圧力は、6.65～66.5 Pa に設定されることを特徴とする請求項 17～26 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法。

【請求項 32】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 F_2 を前記クリーニングガスとして、5%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 31 記載のクリーニング方法。

【請求項 33】 排気系により排気され、リモートプラズマ源を結合された処理容器中における基板処理方法であって、

前記リモートプラズマ源は、ガス入口とガス出口とを備え、周回路を形成するガス通路と、前記ガス通路の一部に巻回されたコイルとを有するトロイダル型プラズマ発生装置よりなり、

前記基板処理方法は、前記リモートプラズマ源において、F を含むラジカルを形成する工程と、

前記ラジカルを前記処理容器内部に供給し、前記ラジカルにより前記処理容器内において被処理基板表面をエッチングする工程とを含み、

前記ラジカルを形成する工程は、

前記ガス通路中に、Ar ガス中に少なくとも 5% の濃度で NF_3 または F_2 をエッチングガスとして含む混合ガスを、プラズマが着火する第 1 の圧力において供給し、前記コイルを高周波電力により駆動してプラズマを着火する工程と、

前記ガス通路中における前記混合ガスの全圧を、前記プラズマを維持しつつ、第 2 の圧力まで増大させる工程とを含み、

前記エッチング工程は、前記第 2 の圧力において実行されることを特徴とする基板処理方法。

【請求項 34】 前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記排気系のコンダクタンスを変化させる工程と、前記混合ガスの流量を変化させる工程とを含むことを特徴とする請求項 33 記載の基板処理方法。

【請求項 35】 前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、前記排気系のコンダクタンスと前記混合ガスの流量を同時に変化させながら実行されることを特徴とする請求項 33 または 34 記載の基板処理方法。

【請求項 36】 前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、前記混合ガスの流量を一定に保持しながら、前記排気系のコンダクタンスを減少させる工程と、前記全圧を一定に保持しながら前記混合ガスの流量を増大させる工程とを含むことを特徴とする請求項 33 または 34 記載の基板処理方法。

【請求項 37】 さらに前記排気系のコンダクタンスを最大に保持しながら、前記混合ガスの流量を増大させる工程を含むことを特徴とする請求項 36 記載の基板処理方法。

【請求項 38】 前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、複数の質量流量コントローラを切り替える工程を含むことを特徴とする請求項 33～37 のうち、いずれか一項記載の基板処理方法。

【請求項 39】 前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記前記混合ガス中の前記エッチングガス濃度を一定に保持しながら実行されることを特徴とする請求項 33～38 のうち、いずれか一項記載の基板処理方法。

【請求項 40】 前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記混合ガス中の前記エッチングガス濃度を変化させながら実行されることを特徴とする請求項 33～38 のうち、いずれか一項記載の基板処理方法。

【請求項 41】 前記エッチング工程は、前記混合ガス中における NF_3 の濃度を 50～40% に設定して実行されることを特徴とする請求項 33～40 のうち、いずれか一項記載の基板処理方法。

【請求項 42】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは 100 SCCM 以下の流量で供給されることを特徴とする請求項 33～41 のうち、いずれか一項記載の基板処理方法。

【請求項 43】 前記混合ガスは前記エッチングガスとして NF_3 を含み、前記第 1 の圧力は、6.65～66.5 Pa に設定されることを特徴とする請求項 33～42 のうち、いずれか一項記載の基板処理方法。

【請求項 44】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を

前記エッチングガスとして、5%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項43記載の基板処理方法。

【請求項45】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を前記エッチングガスとして、10%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項43記載の基板処理方法。

【請求項46】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を前記エッチングガスとして、20%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項43記載の基板処理方法。

【請求項47】 前記混合ガスは F_2 を前記エッチングガスとして含み、前記第1の圧力は、6.65～66.5 Paに設定されることを特徴とする請求項33～42のうち、いずれか一項記載の基板処理方法。

【請求項48】 前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 F_2 を前記エッチングガスとして、5%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項47記載の基板処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は一般にプラズマ発生装置に係り、特にプラズマ着火方法に関する。

【0002】

プラズマ発生装置は半導体装置や液晶表示装置の製造において広く使われている。例えばプラズマ発生装置を使うことにより、半導体基板中に形成された不純物元素の濃度分布が変化しないような低温において成膜処理あるいはエッチング処理を実行することができる。

【0003】

【従来の技術】

図1は、従来の典型的な枚葉式CVD装置10の構成を示す。

【0004】

図1を参照するに枚葉式CVD装置10は、加熱機構（図示せず）を含み被処理基板12Aを保持するサセプタ12を含み、真空ポンプ13により遮断バルブ

13Aおよびコンダクタンスバルブ13Bを介して排気される処理容器11を含み、前記処理容器11中には、原料ガス供給系15からラインL1およびバルブV1を介して原料ガスを供給されるシャワーヘッド14が、前記サセプタ12上の被処理基板12Aに対面するように設けられている。

【0005】

前記原料供給系15は原料ガス源15A～15Cを含み、前記原料ガス源15A中の原料ガスは前記ラインL1にバルブ15VAを介して、前記原料ガス源15B中の原料ガスは前記ラインL1にバルブ15VBを介して、また前記原料ガス源15C中の原料ガスは前記ラインL1にバルブ15VCを介して、供給される。

【0006】

前記ラインL1を通して供給された原料ガスは前記処理容器11中のプロセス空間に、前記シャワーヘッド14を介して放出され、前記被処理基板12Aの表面における分解反応により、前記被処理基板12の表面に所望の成膜が生じる。

【0007】

図10の枚葉式CVD装置10では、前記処理容器11には、図示を省略したゲートバルブ構造が前記被処理基板12Aの出し入れのために設けられており、前記ゲートバルブ構造は基板搬送室に結合されている。前記枚葉式CVD装置10は、前記基板搬送室に結合された他の処理装置と共に、枚葉式基板処理システムを構成する。

【0008】

このような枚葉式処理システムを構成する枚葉式CVD装置10では、成膜処理の際に基板温度をサセプタ12中に形成した加熱装置により制御しており、処理容器10の壁面は、比較的低い、例えば室温～150℃程度の温度に保持される（コールドウォール）。

【0009】

このようなコールドウォール型のCVD装置では、被処理基板12A上への成膜時に処理容器11の内壁面への反応生成物の堆積がある程度生じるのが避けられず、このため一又は複数の被処理基板の成膜処理が終了するごとに、前記処理

容器 11 内部にエッチング性のクリーニングガスを流し、堆積物を除去するクリーニング工程が行われる。

【0010】

特に最近の超微細化半導体装置の製造に使われる CVD 装置の場合、所定の初期プロセス条件を回復させるために、頻繁に、理想的には被処理基板を 1 枚処理するたびに、クリーニング工程を行うのが望ましい。しかしこのように頻繁にクリーニング工程を行う場合には、クリーニング時間が半導体装置の製造スループットを大きく低下させる要因となる。

【0011】

このため、図 1 の CVD 装置では、前記処理容器 11 の外部に、エッチングガス源 16 A およびプラズマガス源 16 B、さらにリモートプラズマ源 16 C よりなるクリーニングモジュール 16 を設け、前記リモートプラズマ源 16 C により形成された反応性の高いエッチングガスをライン L2 およびバルブ 16 V_C を解して前記処理容器 11 内部のプロセス空間へと供給するようにしている。このようにプラズマ源を処理容器 11 の外部に設けることにより、高エネルギーのプラズマによる処理容器 11 内壁の損傷が回避され、安定なクリーニングを行うことが可能になる。またプラズマ中に形成されるイオンはリモートプラズマ源 16 C から処理容器 11 へ輸送される途中に電子と再結合するため、図 1 の構成では反応を促進するラジカルのみが処理容器 11 中に供給される。

【0012】

なお図 1 において前記エッチングガス源 16 A は NF_3 などのフッ素系エッチングガスを前記リモートプラズマ源 16 C にバルブ 16 V_A を介して供給し、また前記プラズマガス源 16 B は Ar などの希ガスを前記リモートプラズマ源 16 C に、バルブ 16 V_B を介して供給する。

【0013】

このようなりモートプラズマ源 16 C としては、従来、並行平板 (CCP) 型プラズマ発生装置、誘導結合 (ICP) 型プラズマ発生装置、電子サイクロトロン共鳴 (ECR) 型プラズマ発生装置、ヘリコン波励起型プラズマ発生装置、マイクロ波共振器型プラズマ発生装置、トロイダル型プラズマ発生装置などが知ら

れているが、プラズマ発生が発生装置の壁面から離れて生じ、処理容器 11 内部のプロセス空間へのイオンなど、質量の大きな荷電粒子の導入が少ないトロイダル型プラズマ発生装置を使うのが好ましいと考えられている。

【0014】

図 2 は、このような前記リモートプラズマ源 16 C として使われるトロイダル型プラズマ発生装置 20 の概略的構成を示す。

【0015】

図 2 を参照するに、プラズマ発生装置 20 はガス入口 21 A とガス出口 21 B とを設けられた循環的なガス通路 21 を有し、前記ガス通路の外側には、高周波コイル 22 が巻回されている。

【0016】

そこで前記ガス入口 21 A に導入された Ar などの希ガスは、前記循環ガス通路 21 中を周回するが、その際に前記高周波コイル 22 を高周波電力により駆動することにより、前記希ガス中にプラズマを誘起する。このようにして誘起されたプラズマが前記ガス通路 11 中を高速で周回するにつれて前記ガス通路 11 中には図 2 中に実線 21 a で示した周回的な電流路が形成され、さらに前記高周波コイルが形成する磁力線が図 2 中、破線 21 b に示すように前記電流路 21 a に一致した経路に絞り込まれる。このように磁力線が経路 21 b に絞り込まれるとプラズマ中の電子やイオンが前記磁力線経路 21 b に一致する電流路 21 a に絞り込まれ、前記電流路 21 a 中の電流密度がさらに増大するが、このような電流密度の増大は前記磁力線経路 21 b へのさらなる磁力線の絞り込みを生じる。

【0017】

図 2 のトロイダル型のプラズマ発生装置 20 では、このように高密度プラズマは前記循環ガス通路 21 を画成する壁面から離れた位置に形成されるため、特に高エネルギーに加速された電子による壁面のスパッタが少なく、汚染の少ないプラズマの形成が可能になる。またこのような汚染の少ないプラズマは安定に維持される。

【0018】

【特許文献 1】 米国特許 6374831 号公報

【0019】

【発明が解決しようとする課題】

このように、図2のトロイダル型のプラズマ発生装置20では、いったん高密度プラズマが形成されるとそれを安定に維持することができるが、上記の説明からもわかるように、プラズマの着火については課題を有している。この問題は、例えば図2のプラズマ発生装置20を図1のCVD装置10においてリモートプラズマ源16Cとして使った場合に特に顕著に顕れる。

【0020】

図1を再び参照するに、前記CVD装置10においては NF_3 エッチングガスが前記リモートプラズマ源16Cに供給されているが、 NF_3 や F_2 、 CF_4 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 SF_6 、 ClF_3 などのエッチングに使われるフッ素系化合物は電離エネルギーがArに比べて非常に大きく、このため前記リモートプラズマ源16C中において前記Arガス源16BからのArガスに電気陰性度の高いFを含む NF_3 などのフッ素系エッチングガスが添加された場合、前記リモートプラズマ源16C中におけるプラズマの着火が困難になる問題が生じる。

【0021】

図3は、本発明の発明者が本発明の基礎となる研究において、図1のCVD装置10においてリモートプラズマ源16Cとして図2のトロイダル型装置20を使い、前記リモートプラズマ源16Cに供給されるAr/ NF_3 混合ガス中における NF_3 ガスの割合を様々に変化させてクリーニングを行った場合の、クリーニング速度と NF_3 ガス濃度との関係を示す。ただし図3の実験では、前記図2の循環ガス通路21中の圧力を1333Pa (10 Torr) に設定し、サセプタ12の温度を100℃、またArガスと NF_3 ガスの合計流量を1500SCCMとした条件下で、前記図1の基板12A上に形成された熱酸化膜のエッチング（クリーニング）を行っている。図中、縦軸のクリーニング速度は、前記熱酸化膜の毎分あたり膜厚変化率を示す。前記リモートプラズマ源16Cは、周波数が400kHzの高周波により駆動している。

【0022】

図3を参照するに、クリーニング速度はAr/ NF_3 混合ガス中における NF_3

ガス濃度が増大するにつれて増大するのがわかる。このことから、1200 Pa の圧力下で500 nm/分以上のクリーニング速度を実現しようとする、前記リモートプラズマ源16Cに供給されるAr/NF₃混合ガスには、少なくとも5%の濃度(=Ar/(Ar+NF₃))になるようにNF₃を添加するのが望ましいことがわかる。

【0023】

図4は、図1のCVD装置10におけるクリーニング速度とNF₃ガス分圧との関係を示す。ただし図4の実験も本発明の発明者が本発明の基礎となる研究において行ったものであり、リモートプラズマ源16Cとして図2のトロイダル型プラズマ発生装置20を使っている。ただし図4の実験では、前記リモートプラズマ源16Cに供給されるNF₃ガスの濃度を45%に設定し、Ar/NF₃混合ガスの全流量を1500 SCCMに設定した条件下において、前記処理容器11内の全圧を変化させながら前記熱酸化膜のエッチングを行っている。

【0024】

図4を参照するに、NF₃ガスの濃度を固定した場合には、処理容器11内の全圧(従ってNF₃ガス分圧)を増大させることにより、熱酸化膜のエッチング速度、すなわちクリーニング速度が増大することがわかる。図4の関係からは、NF₃の濃度を45%に設定した場合、約266 Pa (2 Torr) 以上の圧力において毎分500 nmを超えるクリーニング速度(エッチング速度)が実現されているのがわかる。

【0025】

図3、4の結果は、前記図1のCVD装置10において図2に示すトロイダル型プラズマ発生装置20をリモートプラズマ源16Cとして使った場合、前記リモートプラズマ源16Cに供給されるAr/NF₃混合ガス中のNF₃ガス濃度あるいは分圧を増大させることにより、毎分500 nmを超えるクリーニング速度が実現できることを示しており、従って図10のCVD装置10においてクリーニングを効率良く行うには、このようにNF₃ガス濃度を増加させるのが好ましいことがわかる。

【0026】

さらに図5は、図2のトロイダル型プラズマ発生装置20におけるプラズマ維持パワーと、前記プラズマ発生装置20に供給されるAr/NF₃混合ガス中のNF₃濃度との関係を示す。ただし図5の実験も本発明の発明者が本発明の基礎となる研究において行ったものであり、全圧を10 Torr、前記Ar/NF₃混合ガスの全流量を1500 SCCMに設定した条件下において、プラズマの発生を行っている。

【0027】

図5を参照するに、いったんプラズマが形成されると、NF₃ガスの濃度が増大しても、供給されるRFパワーを増大させることにより、プラズマを維持することができるのがわかる。一方、図5の関係は、Ar/NF₃混合ガスの濃度を増大させた場合には、プラズマを維持するのに大きなRFパワーが要求されることをも示している。前記Ar/NF₃混合ガス中のNF₃濃度がゼロの場合には、ごくわずかのRFパワーでプラズマが維持されるのがわかる。

【0028】

さらに図6は、図2のトロイダル型プラズマ発生装置20におけるプラズマ維持パワーと、前記プラズマ発生装置20に供給されるAr/NF₃混合ガスの全圧との関係を示す。ただし図6の実験も本発明の発明者が本発明の基礎となる研究において行ったものであり、Ar/NF₃混合ガス中のNF₃濃度を45%に、また前記Ar/NF₃混合ガスの全流量を1500 SCCMに設定した条件下において、プラズマの発生を行っている。

【0029】

図6より、前記Ar/NF₃混合ガス中におけるプラズマ維持パワーは、全圧が低下すると減少し、例えば全圧が約333 Pa (2.5 Torr) では3 kW程度の高周波パワーでプラズマが維持されることがわかる。これに対し、全圧が約2000 Pa (15 Torr) の場合、4 kWを超えるRFパワーを投入しなければプラズマを維持できないことがわかる。

【0030】

このように、図2のトロイダル型プラズマ発生装置20では、いったんプラズマが着火すれば高いNF₃分圧あるいは濃度において、大きなRFパワーを投入

することにより効率よくプラズマエッチングあるいはプラズマクリーニングを行うことができるが、先にも述べたように、トロイダル型のプラズマ発生装置では、特にNF₃など電気陰性度の高い元素を含むガスを供給した場合、プラズマの着火が困難になる問題点を有している。図2のトロイダル型プラズマ発生装置20では、ArガスにNF₃ガスがわずかに添加されただけでも、プラズマは着火しなくなる。また全圧が高くなるとプラズマは着火しなくなる。この問題点は、図5, 6のプラズマ維持パワーとNF₃濃度あるいは分圧、さらにプラズマ維持パワーと全圧との関係からも示唆されるものである。

【0031】

勿論このような条件下でも、図2のRFコイル22に非常に大きな高周波電力を供給すればプラズマを着火させることはできるが、このような大電力の供給を行うと、プラズマが着火するまでの間、前記コイルには非常に大きな電圧が印加され、リアクタ破損などの問題が生じてしまう。

【0032】

このプラズマ着火の問題を回避するために、従来はリモートプラズマ源16Cの着火時にはAr100%ガスを供給し、プラズマが形成された時点でフッ素系エッチングガスをこれに添加することが行われていた。例えば特許文献1を参照。先に図3～6で説明した実験でも、プラズマの着火は、このようにプラズマ着火時にAr100%ガスを使うことで行っている。

【0033】

しかし、このような従来の方法では、プラズマ着火時に図2の循環ガス通路21を十分にパージしてNF₃ガスを除去しなければプラズマが着火できないため、特に最近の、例えば設計ルールが1μm以下の超微細化半導体装置の製造に際して要求される頻繁な処理容器のクリーニング、例えば基板を1枚処理するたびに処理容器11のクリーニング処理を行おうとすると、非常に長い処理時間がかかってしまい、基板処理スループットが大きく低下してしまう。

【0034】

そこで本発明は上記の問題点を解決した、新規で有用なプラズマ着火方法、クリーニングおよび基板処理方法を提供することを概括的課題とする。

【0035】

本発明の他の課題は、トロイダル型プラズマ発生装置において、ArガスとNF₃ガスの混合ガスに対してプラズマを着火させるプラズマ着火方法、およびかかるトロイダル型プラズマ発生装置を使った基板処理方法を提供することにある。

【0036】

【課題を解決するための手段】

本発明は上記の課題を、

請求項1に記載したように、

ガス入口とガス出口とを備え、周回路を形成するガス通路と、

前記ガス通路の一部に巻回されたコイルとを有するトロイダル型プラズマ発生装置におけるプラズマ発生方法であって、

前記ガス通路中に、少なくとも5%のNF₃を含むArガスとNF₃ガスの混合ガスを供給し、前記コイルを高周波電力により駆動してプラズマを着火する工程を含み、

前記プラズマ着火工程は、6.65～66.5Paの全圧下において実行されることを特徴とするプラズマ発生方法により、または

請求項2に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、NF₃を、5%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項1記載のプラズマ発生方法により、または

請求項3に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、NF₃を、10%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項1または2記載のプラズマ発生方法により、または

請求項4に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、NF₃を、20%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項1～3のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法により、または

請求項 5 に記載したように、

前記着火工程の後、前記混合ガスの全圧を増大させる工程を含むことを特徴とする請求項 1 ～ 4 のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法により、または請求項 6 に記載したように、

前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記前記混合ガス中の NF_3 濃度を一定に保持しながら実行されることを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ発生方法により、または

請求項 7 に記載したように、

前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記混合ガス中の NF_3 濃度を変化させながら実行されることを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ発生方法により、または

請求項 8 に記載したように、

前記混合ガスの全圧を増大させる工程の後、前記混合ガスは NF_3 を 50 ～ 40 % の濃度で含むことを特徴とする請求項 5 ～ 7 のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法により、または

請求項 9 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、100 SCCM 以下の流量で供給されることを特徴とする請求項 1 ～ 8 のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法により、または

請求項 10 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、3 SCCM 以上、80 SCCM 以下の流量で供給されることを特徴とする請求項 1 ～ 9 のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法により、または

請求項 11 に記載したように、

ガス入口とガス出口とを備え、周回路を形成するガス通路と、

前記ガス通路の一部に巻回されたコイルとを有するトロイダル型プラズマ発生装置におけるプラズマ発生方法であって、

前記ガス通路中に、少なくとも 5 % の F_2 を含む Ar ガスと F_2 ガスの混合ガスを供給し、前記コイルを高周波電力により駆動してプラズマを着火する工程を含

み、

前記プラズマ着火工程は、6.65～66.5 Pa の全圧下において実行されることを特徴とするプラズマ発生方法により、または

請求項 12 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、F₂を 5 %以上、45 %以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 11 記載のプラズマ発生方法により、または

請求項 13 に記載したように、

前記着火工程の後、前記混合ガスの全圧を増大させる工程を含むことを特徴とする請求項 11 または 12 記載のプラズマ発生方法により、または

請求項 14 に記載したように、

前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記前記混合ガス中の F₂濃度を一定に保持しながら実行されることを特徴とする請求項 13 記載のプラズマ発生方法により、または

請求項 15 に記載したように、

前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記混合ガス中の F₂濃度を変化させながら実行されることを特徴とする請求項 13 記載のプラズマ発生方法により、または

請求項 16 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、100 SCCM以下の流量で供給されることを特徴とする請求項 11～14 のうち、いずれか一項記載のプラズマ発生方法により、または

請求項 17 に記載したように、

排気系により排気され、リモートプラズマ源を結合された処理容器のクリーニング方法であって、

前記リモートプラズマ源は、ガス入口とガス出口とを備え、周回路を形成するガス通路と、前記ガス通路の一部に巻回されたコイルとを有するトロイダル型プラズマ発生装置よりなり、

前記クリーニング方法は、前記リモートプラズマ源において、Fを含むラジカ

ルを形成する工程と、

前記ラジカルを前記処理容器内部に供給し、前記ラジカルにより前記処理容器内部をクリーニングする工程とを含み、

前記ラジカルを形成する工程は、

前記ガス通路中に、Ar ガス中に少なくとも 5 % の濃度で NF_3 または F_2 をクリーニングガスとして含む混合ガスを、プラズマが着火する第 1 の圧力において供給し、前記コイルを高周波電力により駆動してプラズマを着火する工程と、

前記ガス通路中における前記混合ガスの全圧を、前記プラズマを維持しつつ、第 2 の圧力まで増大させる工程とを含み、

前記クリーニング工程は、前記第 2 の圧力において前記処理容器内部をクリーニングすることを特徴とするクリーニング方法により、または

請求項 18 に記載したように、

前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記排気系のコンダクタンスを変化させる工程と、前記混合ガスの流量を変化させる工程とを含むことを特徴とする請求項 17 記載のクリーニング方法により、または

請求項 19 に記載したように、

前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、前記排気系のコンダクタンスと前記混合ガスの流量を同時に変化させながら実行されることを特徴とする請求項 17 または 18 記載のクリーニング方法により、または

請求項 20 に記載したように、

前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、前記混合ガスの流量を一定に保持しながら、前記排気系のコンダクタンスを減少させる工程と、前記全圧を一定の保持しながら前記混合ガスの流量を増大させる工程とを含むことを特徴とする請求項 17 または 18 記載のクリーニング方法により、または

請求項 21 に記載したように、

さらに前記排気系のコンダクタンスを最大に保持しながら、前記混合ガスの流量を増大させる工程を含むことを特徴とする請求項 20 記載のクリーニング方法により、または

請求項 22 に記載したように、

前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、複数の質量流量コントローラを切り替える工程を含むことを特徴とする請求項 17～21 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法により、または

請求項 23 に記載したように、

前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記前記混合ガス中の前記クリーニングガス濃度を一定に保持しながら実行されることを特徴とする請求項 17～22 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法により、または

請求項 24 に記載したように、

前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記混合ガス中の前記クリーニングガス濃度を変化させながら実行されることを特徴とする請求項 17～22 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法により、または

請求項 25 に記載したように、

前記クリーニング工程は、前記混合ガス中における NF_3 の濃度を 50～40 % に設定して実行されることを特徴とする請求項 17～24 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法により、または

請求項 26 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは 100 SCCM 以下の流量で供給されることを特徴とする請求項 17～25 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法により、または

請求項 27 に記載したように、

前記混合ガスは前記クリーニングガスとして NF_3 を含み、前記第 1 の圧力は、6.65～66.5 Pa に設定されることを特徴とする請求項 17～26 のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法により、または

請求項 28 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を前記クリーニングガスとして、5%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 27 記載のクリーニング方法により、または

請求項 29 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を前記クリーニングガ

スとして、10%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項27記載のクリーニング方法により、または

請求項30に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を前記クリーニングガスとして、20%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項27記載のクリーニング方法により、または

請求項31に記載したように、

前記混合ガスは F_2 を前記クリーニングガスとして含み、前記第1の圧力は、6.65～66.5 Paに設定されることを特徴とする請求項17～26のうち、いずれか一項記載のクリーニング方法により、または

請求項32に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 F_2 を前記クリーニングガスとして、5%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項31記載のクリーニング方法により、または

請求項33に記載したように、

排気系により排気され、リモートプラズマ源を結合された処理容器中における基板処理方法であって、

前記リモートプラズマ源は、ガス入口とガス出口とを備え、周回路を形成するガス通路と、前記ガス通路の一部に巻回されたコイルとを有するトロイダル型プラズマ発生装置よりなり、

前記基板処理方法は、前記リモートプラズマ源において、Fを含むラジカルを形成する工程と、

前記ラジカルを前記処理容器内部に供給し、前記ラジカルにより前記処理容器内において被処理基板表面をエッチングする工程とを含み、

前記ラジカルを形成する工程は、

前記ガス通路中に、Arガス中に少なくとも5%の濃度で NF_3 または F_2 をエッチングガスとして含む混合ガスを、プラズマが着火する第1の圧力において供給し、前記コイルを高周波電力により駆動してプラズマを着火する工程と、

前記ガス通路中における前記混合ガスの全圧を、前記プラズマを維持しつつ、

第2の圧力まで増大させる工程とを含み、

前記エッチング工程は、前記第2の圧力において実行されることを特徴とする基板処理方法により、または

請求項34に記載したように、

前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記排気系のコンダクタンスを変化させる工程と、前記混合ガスの流量を変化させる工程とを含むことを特徴とする請求項33記載の基板処理方法により、または

請求項35に記載したように、

前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、前記排気系のコンダクタンスと前記混合ガスの流量を同時に変化させながら実行されることを特徴とする請求項33または34記載の基板処理方法により、または

請求項36に記載したように、

前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、前記混合ガスの流量を一定に保持しながら、前記排気系のコンダクタンスを減少させる工程と、前記全圧を一定の保持しながら前記混合ガスの流量を増大させる工程とを含むことを特徴とする請求項33または34記載の基板処理方法により、または

請求項37に記載したように、さらに前記排気系のコンダクタンスを最大に保持しながら、前記混合ガスの流量を増大させる工程を含むことを特徴とする請求項36記載の基板処理方法により、または

請求項38に記載したように、

前記混合ガスの全圧を変化させる工程は、複数の質量流量コントローラを切り替える工程を含むことを特徴とする請求項33～37のうち、いずれか一項記載の基板処理方法により、または

請求項39に記載したように、

前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記前記混合ガス中の前記エッチングガス濃度を一定に保持しながら実行されることを特徴とする請求項33～38のうち、いずれか一項記載の基板処理方法により、または

請求項40に記載したように、

前記混合ガスの全圧を増大させる工程は、前記混合ガス中の前記エッチングガ

ス濃度を変化させながら実行されることを特徴とする請求項 33～38のうち、いずれか一項記載の基板処理方法により、または

請求項 41 に記載したように、

前記エッチング工程は、前記混合ガス中における NF_3 の濃度を 50～40% に設定して実行されることを特徴とする請求項 33～40のうち、いずれか一項記載の基板処理方法により、または

請求項 42 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは 100 SCCM 以下の流量で供給されることを特徴とする請求項 33～41のうち、いずれか一項記載の基板処理方法により、または

請求項 43 に記載したように、

前記混合ガスは前記エッチングガスとして NF_3 を含み、前記第 1 の圧力は、6.65～66.5 Pa に設定されることを特徴とする請求項 33～42のうち、いずれか一項記載の基板処理方法により、または

請求項 44 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を前記エッチングガスとして、5%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 43 記載の基板処理方法により、または

請求項 45 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を前記エッチングガスとして、10%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 43 記載の基板処理方法により、または

請求項 46 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 NF_3 を前記エッチングガスとして、20%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 43 記載の基板処理方法により、または

請求項 47 に記載したように、

前記混合ガスは F_2 を前記エッチングガスとして含み、前記第 1 の圧力は、6.65～66.5 Pa に設定されることを特徴とする請求項 33～42のうち、い

ずれか一項記載の基板処理方法により、または

請求項 48 に記載したように、

前記プラズマ着火工程において前記混合ガスは、 F_2 を前記エッチングガスとして、5%以上、45%以下の濃度で含むことを特徴とする請求項 47 記載の基板処理方法により、解決する。

【0037】

本発明によれば、トロイダル型のプラズマ発生装置において、 Ar/NF_3 混合ガスについてプラズマを着火することが可能になり、その結果、プラズマを断続的に形成する必要がある枚葉式の基板処理システムなどにおいて、プラズマを着火しようとするたびにリモートプラズマ源から NF_3 ガスをパージする工程が省略でき、クリーニングや基板処理のスループットを大きく改善することができる。

【0038】

またいったんプラズマが着火すると、プラズマを消滅させることなくプラズマ着火ポイントからクリーニングやエッチングが実行されるプロセスポイントまで移行することが可能になり、効率的なプラズマプロセスを実行することが可能になる。

【0039】

【発明の実施の形態】

〔第 1 実施例〕

以下、本発明を好ましい実施例について説明する。

【0040】

先にも説明したように、トロイダル型プラズマ発生装置では、プラズマによるプラズマ発生装置壁面のスパッタリングが抑制されるため、プラズマを使った基板処理工程における汚染が少ない好ましい特徴があるものの、プラズマの着火が困難であり、プラズマ着火を行う場合には、 NF_3 など電気陰性度の大きいハロゲンを含むエッチングガスあるいはクリーニングガスを排除し、 Ar ガス 100% の雰囲気において着火を実行する必要があった。

【0041】

このように従来、トロイダル型プラズマ発生装置では、プラズマの着火はArガス100%の雰囲気中においてのみ可能であることが一般的に受け入れられていた。これに対し本発明の発明者は、減圧環境下においては電子の平均自由行程が長くなることに着目し、トロイダル型のプラズマ発生装置においても、通常のクリーニングやエッチングに使われるよりも低圧の減圧環境下において高周波電界を印加した場合、電子が電界により大きく加速される結果、大きなエネルギーを獲得するであろうこと、およびこのように電子が大きなエネルギーを有する場合、Arガス中にNF₃など、電気陰性度の高いハロゲンを含むガスが添加されていても、プラズマが着火する可能性があることを着想するに至った。

【0042】

図7は、このような着想に基づいて本発明の発明者が、本発明の基礎となる研究において、図2のトロイダル型プラズマ発生装置20（ASTRONi, MKS製、米国特許6150628号）についてプラズマ着火条件を、前記Ar/NF₃混合ガス中におけるNF₃濃度を様々に変化させ、さらに全圧力を様々に変化させながら探索した結果を示す。

【0043】

図7を参照するに、●はプラズマ着火が生じなかった点を示しており、前記NF₃濃度が2.5%以上では、実験したいずれの圧力においてもプラズマ着火は生じなかったが、NF₃濃度を1.7%とした場合、図中に○で示すように、全圧を69Pa（520mTorr）まで低減した場合にプラズマ着火が生じることを見出した。ただし図7の実験では、前記Ar/NF₃混合ガスの全流量を500SCCMとしており、1.7kWの高周波電力を印加している。

【0044】

そこで、図2のトロイダル型プラズマ発生装置について、このようにして発見された着火点を出発点として、前記Ar/NF₃混合ガスの全圧力、流量および前記混合ガス中におけるNF₃濃度を様々に変化させてプラズマ着火点を探索したところ、図8に示すような結果を得た。ただし図8の実験では、周波数が400kHzの高周波を、1500Wのパワーで供給している。

【0045】

図8を参照するに、縦軸は前記Ar/NF₃混合ガス中におけるNF₃の濃度 ($=NF_3 / (Ar + NF_3)$) を、横軸は前記ガス通路21中の全圧を示しており、影を付した範囲がプラズマの着火が可能であった条件を示している。

【0046】

すなわち前記ガス通路21中の全圧が減少するにつれてプラズマ着火が可能なNF₃濃度範囲が増大し、また前記Ar/NF₃混合ガスの全流量が減少するにつれてプラズマ着火が可能なNF₃濃度範囲が増大するのがわかる。

【0047】

一方、前記ガス通路21中の全圧が低くなりすぎると、加速された電子がAr原子あるいはNF₃分子に衝突する確率が低減し、プラズマの着火は困難になる。

【0048】

図8より、プラズマ着火時における前記ガス通路21中の全圧を66.5Pa (0.5 Torr) 以下、好ましくは6.65Pa (0.05 Torr) 以下に減少させることにより、NF₃を5%以上含むAr/NF₃混合ガス中においてプラズマ着火が可能であり、特にAr/NF₃混合ガス中におけるNF₃の濃度が45%に達しても、プラズマ着火が可能な場合があることがわかる。

【0049】

また図8は、プラズマ着火時に前記トロイダル型プラズマ発生装置に供給されるAr/NF₃混合ガスの流量を低減させることにより、プラズマ着火が生じるNF₃濃度範囲が増大する傾向を示している。例えば前記Ar/NF₃混合ガスのガス流量が80SCCMの場合、プラズマ着火は生じるが、プラズマ着火が生じるNF₃濃度範囲あるいは圧力範囲は限られているのに対し、前記ガス流量を20SCCM, 5SCCM, 3SCCMと減少させるにつれて、プラズマ着火が生じるNF₃濃度範囲および圧力範囲は拡大するのがわかる。なお、プラズマ着火は前記Ar/NF₃混合ガスのガス流量が100SCCM以下であれば、前記混合ガスが5%程度のNF₃を含んでいても、生じることが確認されている。

【0050】

図9は、図7, 8の結果に基づいて求めた、図2のトロイダル型プラズマ発生

装置 20 におけるプラズマ着火電圧と全圧との関係を示す。

【0051】

図 9 を参照するに、図示の例は前記 Ar/NF_3 混合ガス中に NF_3 が 5 % 含まれている場合についてのものであるが、プラズマ着火電圧は全圧の低下と共に低下し、図 7 の○で示した着火点に略対応する圧力において最小になるのがわかる。これよりも圧力が低下すると前記衝突確率が低下する結果、プラズマ着火電圧は急激に上昇する。

【0052】

図 9 の関係からは、前記混合ガスの全圧が非常に高い場合あるいは非常に低い場合であっても、前記混合ガスに対して図 9 の曲線を超える十分な電圧を与えればプラズマを着火することが可能であることがわかるが、実際のプラズマ発生装置では装置的設計上の、あるいは費用的な制約があり、実際にプラズマ着火可能な圧力範囲は、 $6.65 \sim 66.5 \text{ Pa}$ ($0.05 \sim 0.5 \text{ Torr}$) 程度の範囲に限られることになる。

【0053】

このように、本実施例によれば、トロイダル型プラズマ発生装置において、 NF_3 を 5 % 以上含んだ Ar/NF_3 混合ガスを使った場合でもプラズマの着火が可能となる。このため、例えば枚葉式の基板処理装置において、頻繁に、あるいは基板を 1 枚処理するごとに処理容器内部をクリーニングする場合、プラズマを着火させるのに処理容器内部から NF_3 クリーニングガスを長い時間かけてパージする必要がなくなり、基板処理のスループットが大きく向上する。同様な利点は、 NF_3 ガスを使って被処理基板を 1 枚ずつエッチングする枚葉式のプラズマエッチング装置の場合においても得られる。

[第 2 実施例]

図 10 は、本発明の発明者が、図 2 に示すトロイダル型プラズマ発生装置 20 において前記ガス通路 21 に Ar と F_2 の混合ガスを、様々な F_2 濃度 ($\text{F}_2 / (\text{Ar} + \text{F}_2)$) で供給した場合について、先の図 7 と同様な手順により、プラズマ着火条件を探索した結果を、本発明の第 2 実施例として示す。

【0054】

ただし図10の実験では、前記Ar/F₂混合ガスの流量を100SCCMに設定し、周波数が400kHzの高周波を、1300Wのパワーで供給している。

【0055】

図10を参照するに、全ガス流量を100SCCMとした場合、プラズマの着火は前記混合ガス中のF₂濃度が5%の場合、おおよそ6.65Pa(0.05 Torr)以上、66.5Pa(0.5 Torr)以下の圧力範囲において生じ、この着火可能な圧力範囲は、前記混合ガス中のF₂濃度が増大するにつれて縮小するものの、約45%のF₂濃度までは着火が可能であることがわかる。

[第3実施例]

このように、本発明の発明者は、本発明の基礎となる研究において、図2に示すようなトロイダル型のプラズマ発生装置において、ArガスにNF₃やF₂など、電気陰性度の高いハロゲンを含むガスを添加した混合ガスを供給した場合であってもプラズマ着火が可能で、おおよびプラズマ着火が可能となる条件を見出すことに成功した。

【0056】

一方、実際にCVD装置、例えば図1のCVD装置10においてクリーニングあるいはエッチングに使われる圧力あるいはガス流量は図7あるいは8で示した着火点よりもはるかに大きく、従って、トロイダル型プラズマ発生装置20では、図7あるいは8の着火点においてプラズマが着火した後、プラズマを消すことなく実際にプロセスが行われるプロセス点まで条件を変化させられることが要求される。例えば先に説明した図3あるいは図4によれば、毎分150あるいは200nmのクリーニング速度を達成しようとする、Ar/NF₃混合ガス中のNF₃の濃度を50%以上に、また圧力(全圧)も1330Pa(10 Torr)以上に設定する必要があるのがわかる。

【0057】

そこで、本発明の発明者は、本発明の基礎となる研究において、前記図1のC

VD装置10について、図11に示すように図7あるいは8で説明したプラズマ着火点に対応する着火ポイント(1)から実際のクリーニングあるいはエッチングプロセスが行われるプロセスポイント(2)まで、前記Ar/NF₃混合ガスの全圧および流量を様々な経路で変化させ、ポイント(1)からポイント(2)までプラズマが維持されるかどうかを検証した。ただしこの実験では図1のCVD装置10において前記バルブ16Vcは全開されており、前記リモートプラズマ源16Cとして使われる図2のトロイダル型プラズマ発生装置20のガス通路21における圧力と前記処理容器11内部に圧力は実質的に等しくなっている。

【0058】

図11の実験では、着火ポイント(1)における全圧を約11Pa (0.08 Torr) に、また前記Ar/NF₃混合ガスの全流量を3SCCMに設定し、プロセスポイント(2)における全圧を1330Pa (10 Torr) に、また前記Ar/NF₃混合ガスの全流量を3SLMに設定している。

【0059】

図11を参照するに、経路Aでは前記着火ポイント(1)から前記約11Pa (0.08 Torr) の圧力を維持したままガス流量を増加させ、ポイント(4)に到達する。すなわちポイント(1)からポイント(4)までは、図1のCVD装置10において前記処理容器11中の圧力が、前記Ar/NF₃混合ガスの流量が増大しても一定に維持されるように、排気系のコンダクタンスバルブ13Bを徐々に開いており、前記ポイント(4)においては前記コンダクタンスバルブ13Bは全開状態になっている。このように、前記ポイント(4)は前記コンダクタンスバルブ13Bおよびこれに協働する真空ポンプ13の能力により決定される。

【0060】

この状態で前記Ar/NF₃混合ガスの流量を前記プロセスポイント(2)に対応した所定のプロセス流量まで徐々に増大させると前記処理容器11内部の圧力、従って前記ガス通路21中の全圧は増大し、ポイント(5)に到達する。この時点から前記Ar/NF₃混合ガス流量を一定に保持したまま、前記コンダクタンスバルブ13Bを徐々に閉じることにより、前記処理容器11内部の圧力、従って前記ガス通路21中の圧力は前記プロセスポイント(2)まで徐々に増大する。

【0061】

一方図11の経路Bでは、前記Ar/NF₃混合ガス流量を一定に保持したまま前記コンダクタンスバルブ13Bを徐々に閉じることにより前記処理容器11内部の圧力、従って前記ガス通路21中の全圧は徐々に増大し、全閉状態において前記ポイント(6)に到達する。すなわち前記ポイント(6)は前記コンダクタンスバルブ13Bの全閉状態におけるガスリーク量および真空ポンプ13の能力により決定される。

【0062】

前記経路Bでは前記ポイント(6)から、前記コンダクタンスバルブ13Bを全閉状態に保持したまま前記Ar/NF₃混合ガスの流量を増大させることにより、前記処理容器11内部の圧力、従って前記ガス通路21中の全圧は徐々に増大し、前記プロセスポイント(2)のプロセス圧に対応したポイント(7)に到達する。さらに前記ポイント(7)からAr/NF₃混合ガスの流量を前記プロセスポイント(2)まで徐々に増大させる。その際、前記コンダクタンスバルブ13Bを徐々に閉じることにより、前記処理容器11内部の圧力、従って前記ガス通路21中の全圧を前記プロセス圧に維持する。

【0063】

さらに図11の経路Cでは、前記着火ポイント(1)でプラズマを着火させた後、前記コンダクタンスバルブ13Bの開度を保持したまま前記Ar/NF₃混合ガスの流量を所定のプロセス流量に対応したポイント(3)まで増加させ、さらにその後前記コンダクタンスバルブ13Bを徐々に絞ることにより、前記プロセスポイント(2)まで前記処理容器11内部の圧力、従って前記ガス通路21中の全圧を増大させる。

【0064】

このように、前記着火ポイント(1)からプロセスポイント(2)まで様々な経路でガス流量および全圧を変化する実験を行った結果、図11中、前記ポイント(1)～(7)で囲まれた領域においては、前記全圧およびガス流量を変化させても、いったん着火されたプラズマは消滅することがないのが確認されている。

【0065】

なお、先にも説明したように、ポイント(4)およびポイント(6)、従ってポイント(4)からポイント(5)までの経路、およびポイント(6)からポイント(7)までの経路は、使われるCVD装置のコンダクタンスバルブ13Bの設計および真空ポンプ13の能力により決定されるもので、前記コンダクタンスバルブ13Bの最大コンダクタンスを増大させ、あるいは真空ポンプ13の能力を増大させると前記ポイント(4)からポイント(5)への経路は大流量側にシフトする。また前記コンダクタンスバルブ13Bの最小コンダクタンスを減少させ、あるいは真空ポンプ13の能力を低下させると前記ポイント(6)からポイント(7)への経路は高圧側にシフトする。

【0066】

また前記プロセスポイント(2)は、先に図3～6で説明した条件のいずれかに設定することが可能である。

【0067】

すなわち、前記プロセスポイント(2)において、図3に示すように前記Ar/NF₃混合ガス中のNF₃濃度を80%まで増大させることにより、熱酸化膜に対して毎分2000nmのクリーニング速度を実現することが可能である。この場合には、前記着火ポイント(1)からプロセスポイント(2)までの間に前記Ar/NF₃混合ガス中におけるNF₃濃度を変化させる必要がある。このような場合であっても、いったんプラズマが着火するとプラズマは維持されることが確認されている。

【0068】

このようにしてプロセスポイント(2)に到達した後は、通常のクリーニング工程を行うことが可能である。なお、図1のCVD装置10ではクリーニングは、前記リモートプラズマ源16Cとして使われるトロイダル型のプラズマ発生装置20においてプラズマ着火が生じた時点から開始されていることに注意すべきである。

【0069】

先にも説明したように、図11において着火ポイント(1)からプロセスポイント(2)へ移行する場合に、前記Ar/NF₃混合ガス中のArガスとNF₃ガスの

混合比は固定しても変化させてもよい。その際、本発明ではプラズマ着火が生じた直後からクリーニングが開始されているため、前記 A_r/NF_3 混合ガス中の NF_3 濃度を着火ポイント(1)からプロセスポイント(2)へ移行する間に増加させるのみならず、必要に応じて低減させることも可能である。

【0070】

また、図1のCVD装置10において、前記トロイダル型プラズマ発生装置20をリモートプラズマ源16Cとして使い、前記処理容器11中において熱酸化膜やCVD酸化膜など絶縁膜のプラズマエッチング、あるいはW膜やTi膜などの金属膜のプラズマエッチング、さらにはTiN膜など導電性窒化膜のプラズマエッチングやポリシリコン膜のプラズマエッチングを行うことができる。

【0071】

さらに本実施例においては図1のCVD装置10において、図12に示すように前記 NF_3 ガス源16Aに能力の異なる複数の質量流量コントローラ16a, 16bを設け、これらをバルブにより切り替えて使うことも可能である。図11では、同様に、 A_r ガス源16Bにも、能力の異なる複数の質量流量コントローラ16c, 16dが設けられており、これらがバルブにより切り替えて使われる。

【0072】

そこで、例えば図11の着火ポイント(1)から最初に質量流量コントローラ16aにより A_r/NF_3 混合ガス流量が経路Cに沿って増大しており、前記経路C上のポイント(8)において質量流量コントローラ16aからより大容量の質量流量コントローラ16bに切り替える場合を考えると、前記質量流量コントローラの切り替えに伴って一時的に流量および全圧がポイント(9)まで低下する場合があるが、より大容量の質量流量コントローラ16bを駆動することにより、経路C上のポイント(10)に戻すことができる。その際、本実施例によれば、前記ポイント(9)が図11中に示したプラズマ維持領域内位置している限り、ポイント(1)で着火したプラズマが消滅することはない。

【0073】

さらに前記復帰後のポイント(10)は前記経路C上に限定されるものではなく、

前記ポイント(8)よりも流量が大きい範囲内で前記プラズマ維持領域内の任意の点に選ぶことができる。

【0074】

同様な、低圧力下で着火したプラズマを維持したままプロセス条件に対応した高圧力までプラズマ発生装置中の圧力を増大させることは、前記Ar/NF₃ガスの場合のみならず、Ar/F₂混合ガスを使う場合においても可能である。

【0075】

この場合にも、昇圧中に前記Ar/F₂混合ガス中のF₂濃度を一定に保持してもよく、また変化させてもよい。

【0076】

さらに前記プラズマ発生装置中に供給される希ガスはArガスに限定されるものではなく、He, Ne, Kr, Xeなどのガスを使うことも可能である。

【0077】

図13は、上記の結果に基づいた本発明の第3実施例によるクリーニングあるいはエッチングプロセスで使われるガスおよびRFパワーの供給シーケンスを示す。

【0078】

図13を参照するに、本実施例においては最初に少量のArガスおよびNF₃ガスを図2のトロイダル型プラズマ発生装置20に供給し、6.65～66.5 Paの全圧(P1)下においてRFパワーを供給し、プラズマを着火させる。

【0079】

プラズマが着火した後、前記ArガスおよびNF₃ガスの流量は、図11中のポイント(1)～(7)で囲まれた領域中を任意の経路で増大され、所定のプロセス圧P2に達したところで所望のクリーニングあるいはエッチングプロセスを実行した後、RFパワーを遮断する。

【0080】

なお、先にも説明したように、NF₃を使ったクリーニングあるいはエッチングプロセスは、プラズマ着火直後からすでに開始されている。

【0081】

なお、本実施例においても前記NF₃ガスの代わりにF₂ガスを使うことが可能である。この場合には、前記着火工程の圧力P₁、およびその際のArガスおよびF₂ガスの流量を、図10で説明した着火範囲内に収まるように設定すればよい。

【0082】

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において様々な変形・変更が可能である。

【0083】

【発明の効果】

本発明によれば、トロイダル型のプラズマ発生装置において、Ar/NF₃混合ガスについてプラズマを着火することが可能になり、その結果、プラズマを断続的に形成する必要がある枚葉式の基板処理システムなどにおいて、プラズマを着火しようとするたびにリモートプラズマ源からNF₃ガスをパージする工程が省略でき、クリーニングや基板処理のスループットを大きく改善することができる。

【0084】

またいったんプラズマが着火すると、プラズマを消滅させることなくプラズマ着火ポイントからクリーニングやエッチングが実行されるプロセスポイントまで移行することが可能になり、効率的なプラズマプロセスを実行することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は、本発明が適用されるCVD装置の構成を示す図である。

【図2】

図1のCVD装置で使われる、従来のトロイダル型プラズマ発生装置の構成を示す図である。

【図3】

プラズマクリーニングプロセスで使われるAr/NF₃混合ガス中のNF₃濃度

とクリーニング速度との関係を示す図である。

【図 4】

プラズマクリーニングプロセスで使われる A_r/NF_3 混合ガスの全圧とクリーニング速度との関係を示す図である。

【図 5】

プラズマクリーニングプロセスで使われる A_r/NF_3 混合ガス中の NF_3 濃度プラズマ維持パワーとの関係を示す図である。

【図 6】

プラズマクリーニングプロセスで使われる A_r/NF_3 混合ガスの全圧とプラズマ維持パワーとの関係を示す図である。

【図 7】

本発明の第 1 実施例によるプラズマ着火条件の探索を説明する図である。

【図 8】

本発明の第 1 実施例により見出されたプラズマ着火条件を示す図である。

【図 9】

本発明の第 1 実施例により見出された、プラズマ着火電圧と全圧との関係を示す図である。

【図 10】

本発明の第 2 実施例による、 A_r/F_2 ガスのプラズマ着火条件を示す図である。

【図 11】

本発明の第 3 実施例による、プラズマ着火ポイントから、プラズマクリーニングあるいはプラズマエッチングプロセスポイントまでの移行を示す図である。

【図 12】

本発明の第 3 実施例において使われる、ガス流量切り替え機構の構成を示す図である。

【図 13】

本発明の第 3 実施例によるプラズマクリーニング／エッチング工程のガスおよび RF パワー供給シーケンスを示す図である。

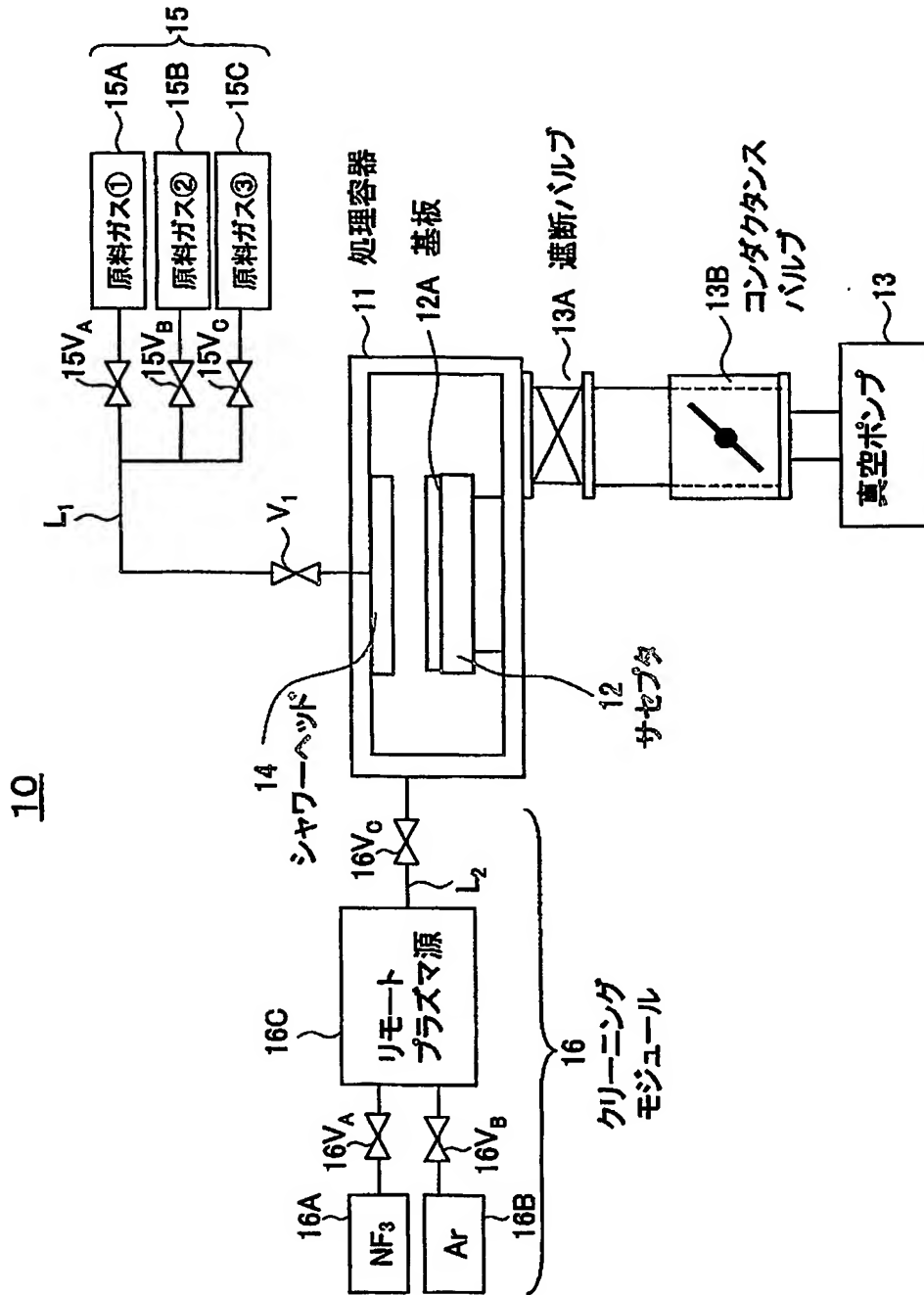
【符号の説明】

- 10 CVD装置
- 11 処理容器
- 12 サセプタ
- 13 真空ポンプ
- 13A 遮断バルブ
- 13B コンダクタンスバルブ
- 14 シャワーヘッド
- 15 原料ガス供給系
- 15A～15C 原料ガス源
- 15VA～15VC バルブ
- 16 クリーニングモジュール
- 16A クリーニングガス源
- 16B Arガス源
- 16a～16d 質量流量コントローラ
- 16C リモートプラズマ源
- 16VA～16VC バルブ
- 20 トロイダル型プラズマ発生装置
- 21 ガス通路
- 21A ガス入口
- 21B ガス出口
- 21a 電流路
- 21b 磁力線
- 22 高周波コイル
- L1 原料ガスライン
- L2 クリーニングガスライン

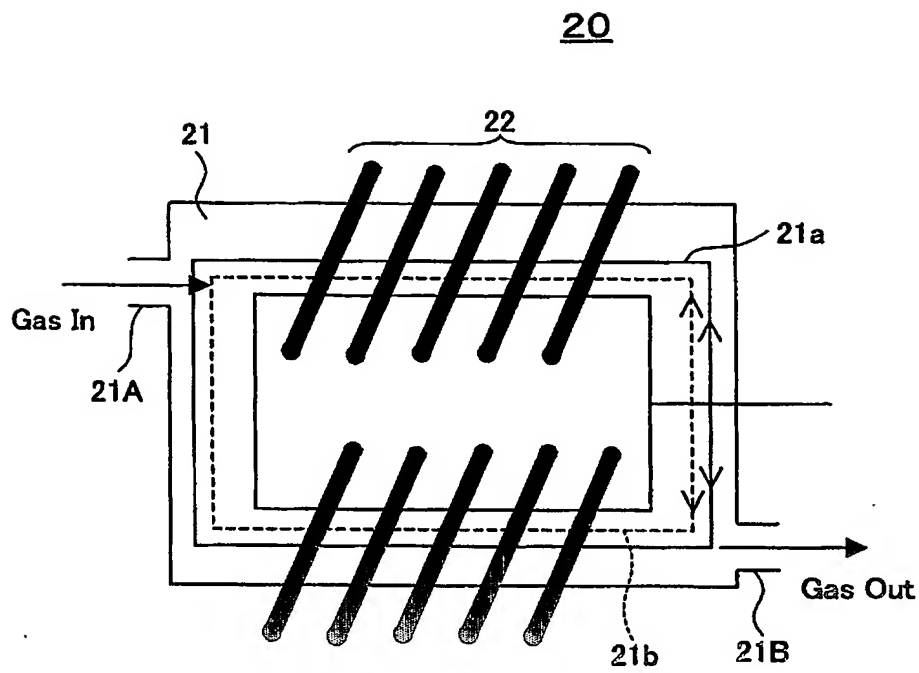
【書類名】

図面

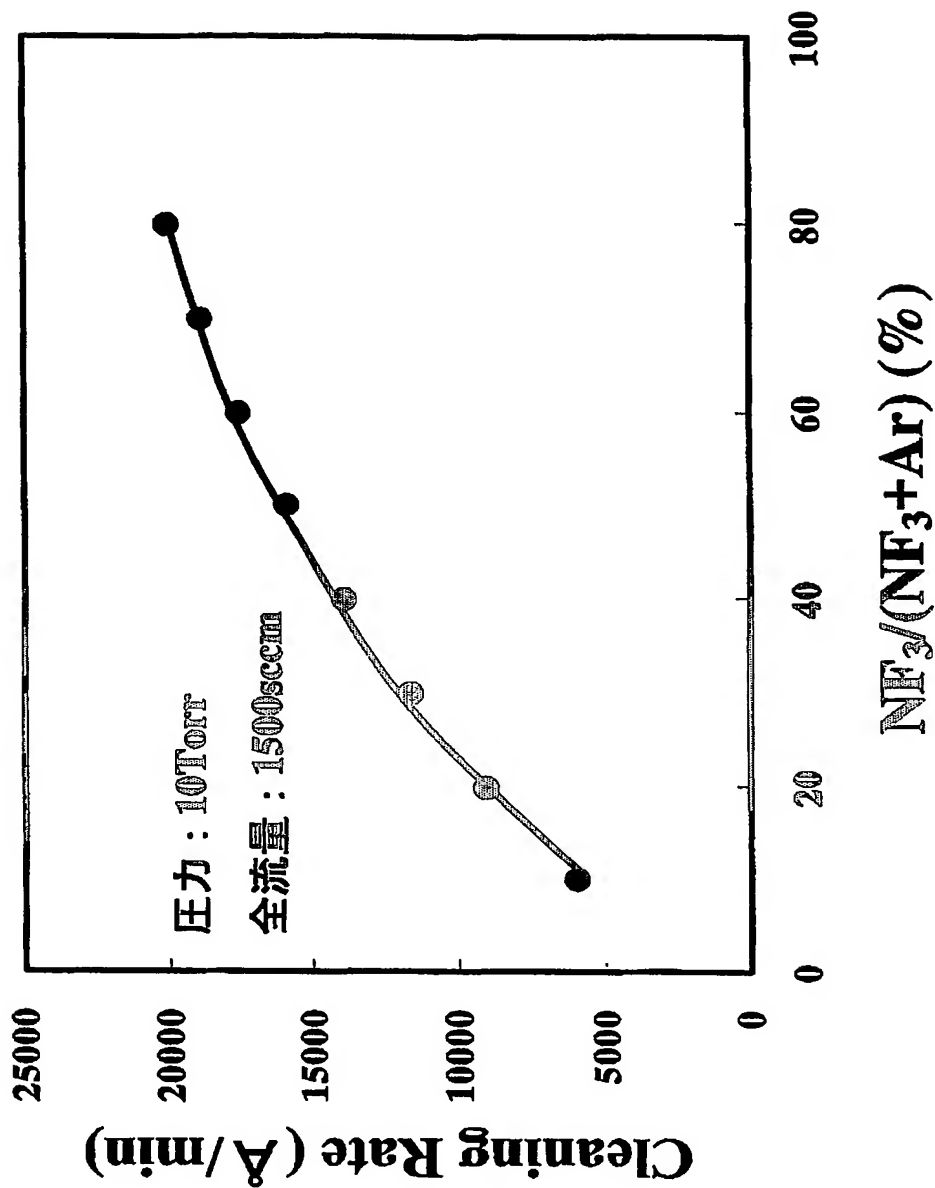
【図1】



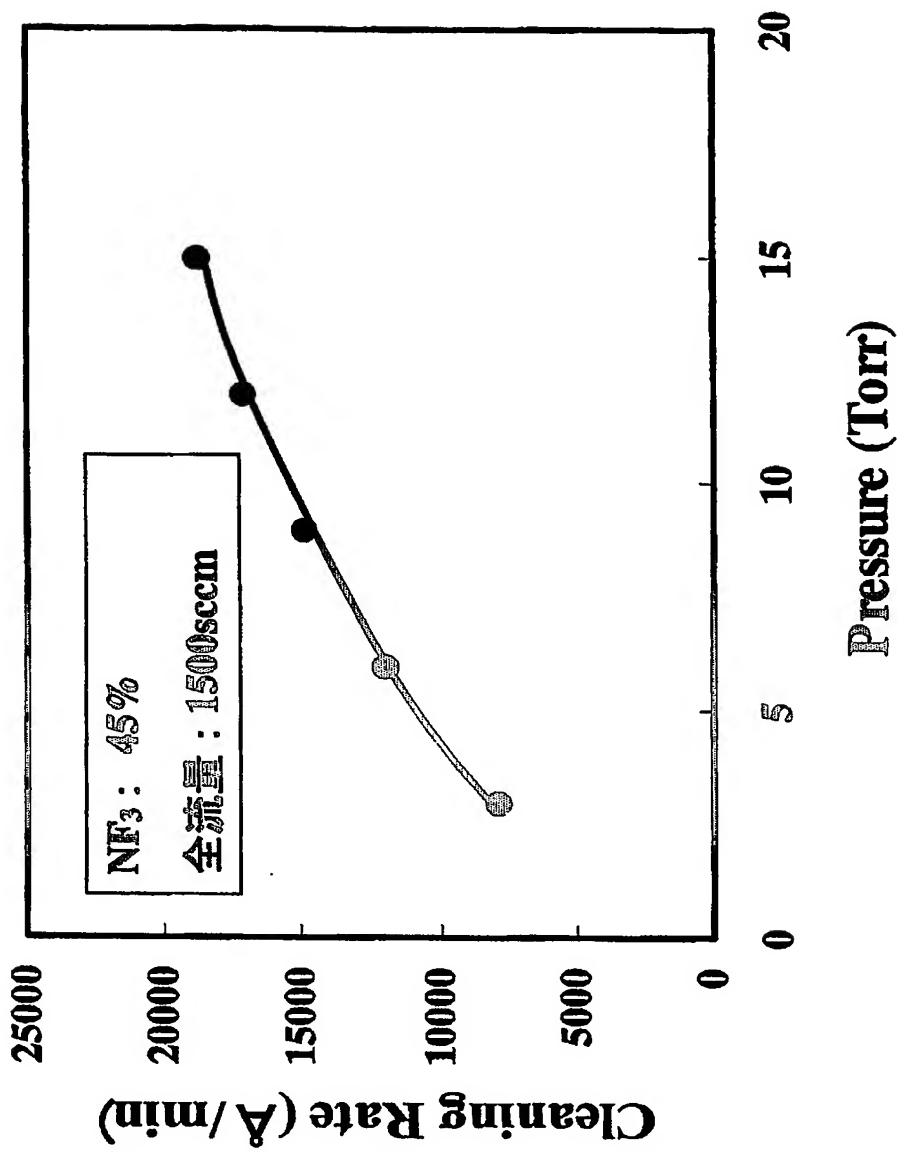
【図 2】



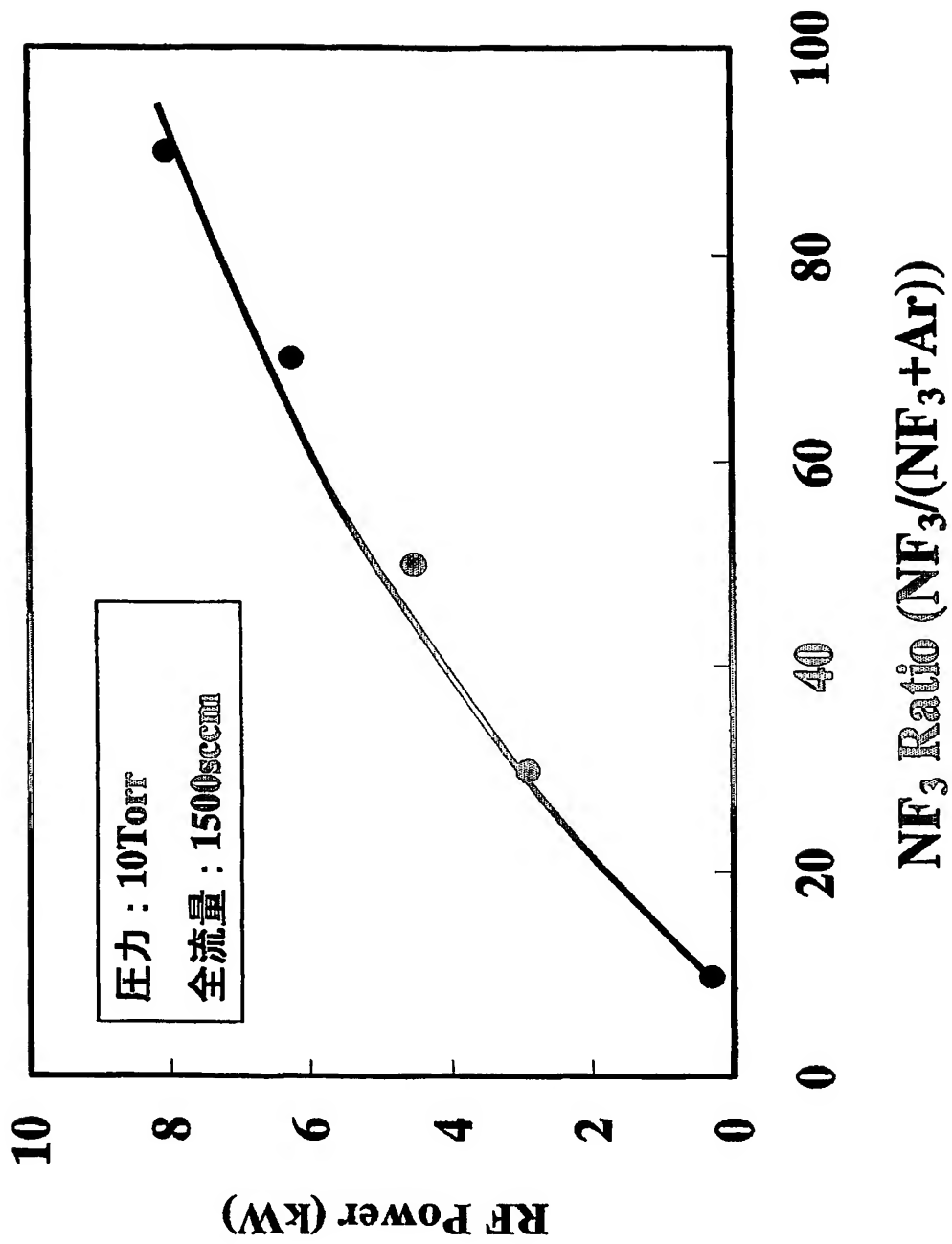
【図 3】



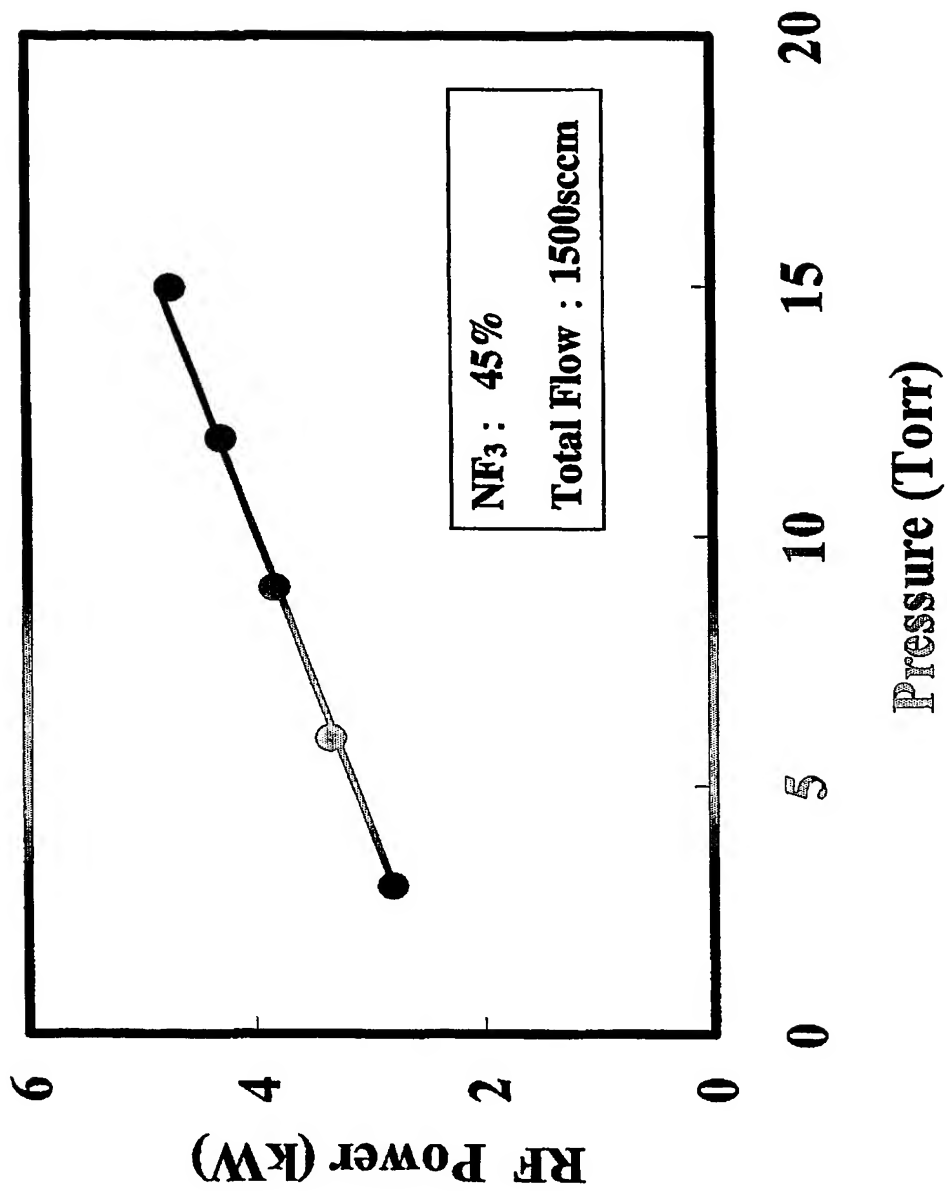
【図 4】



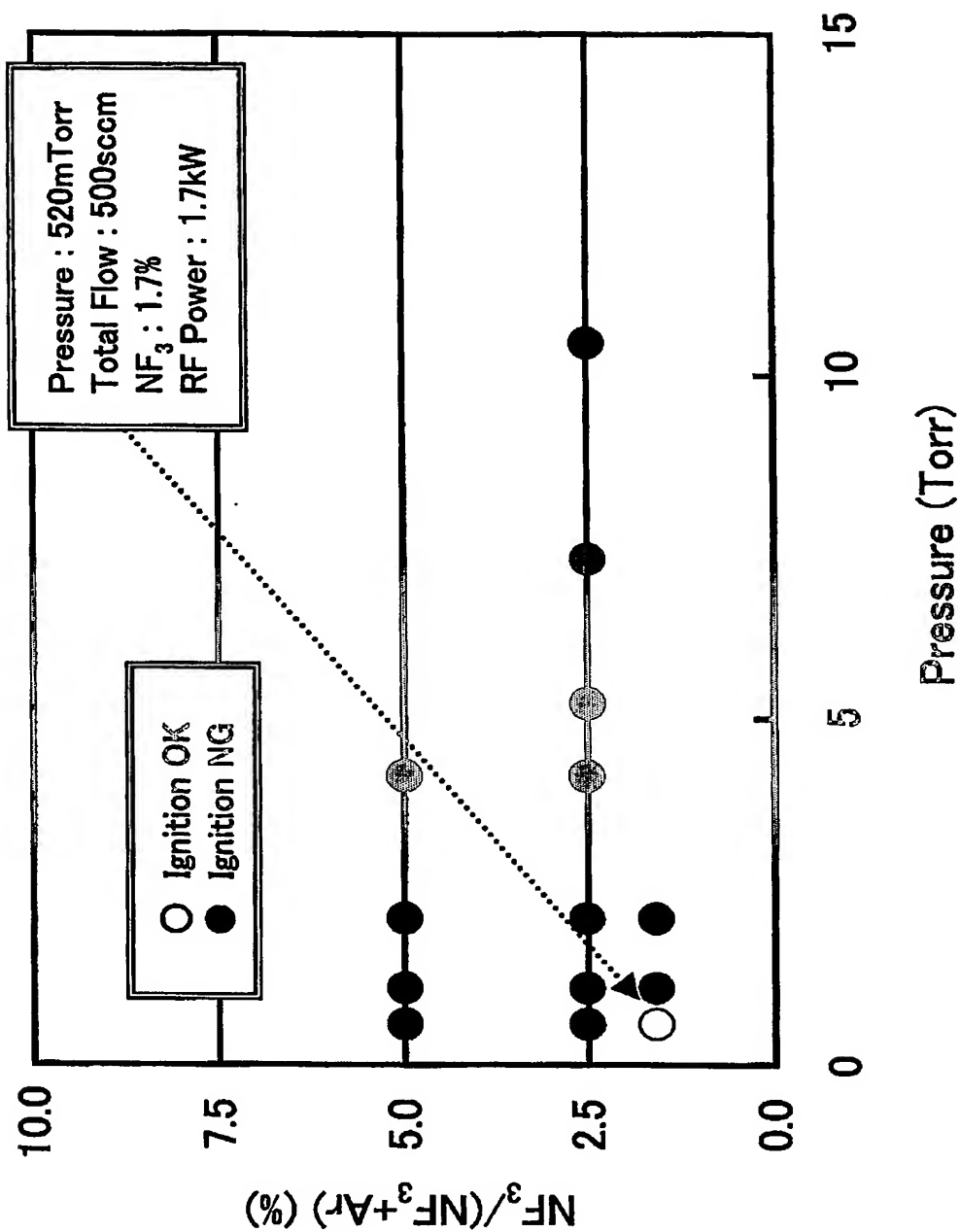
【図 5】



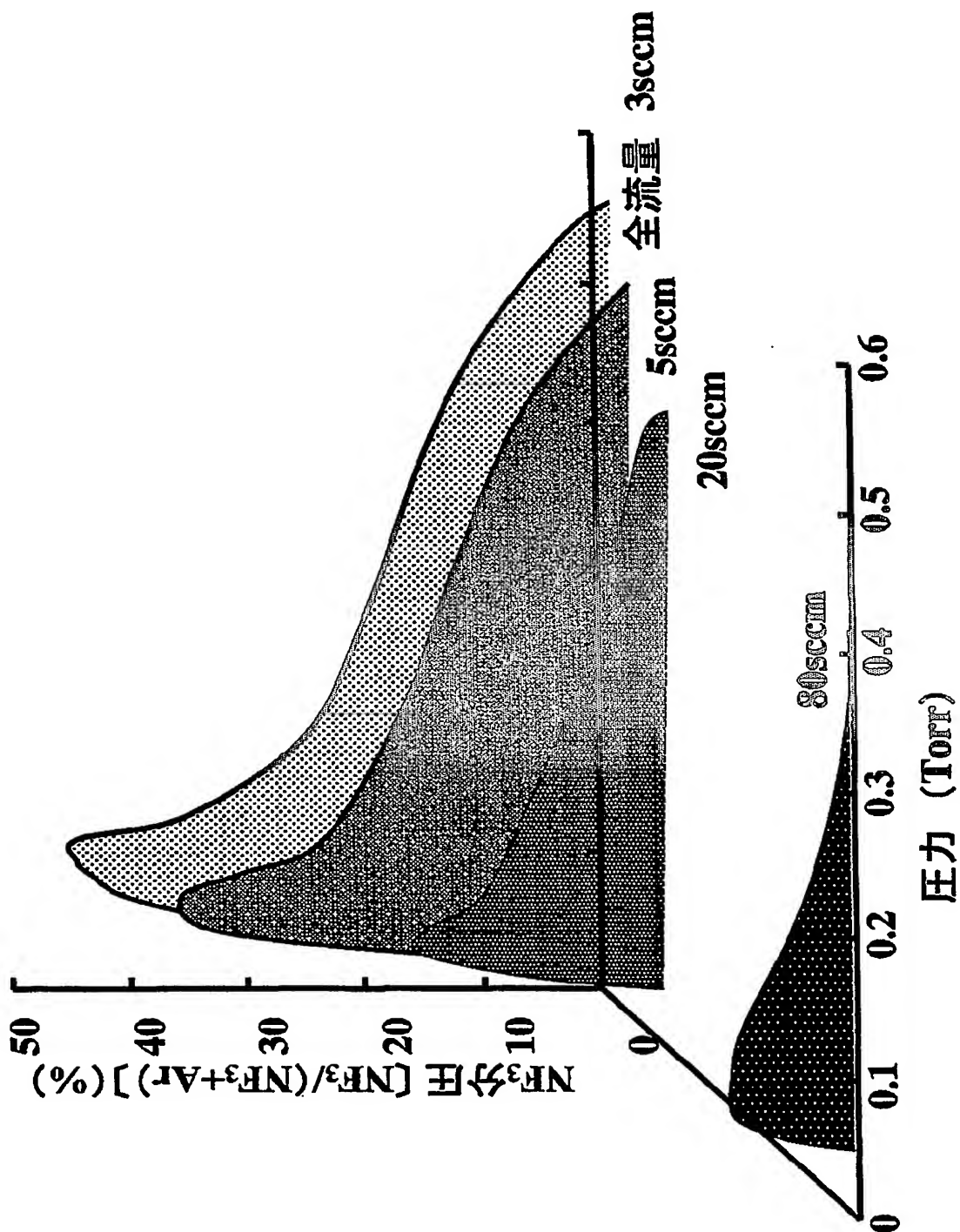
【図 6】



【図 7】

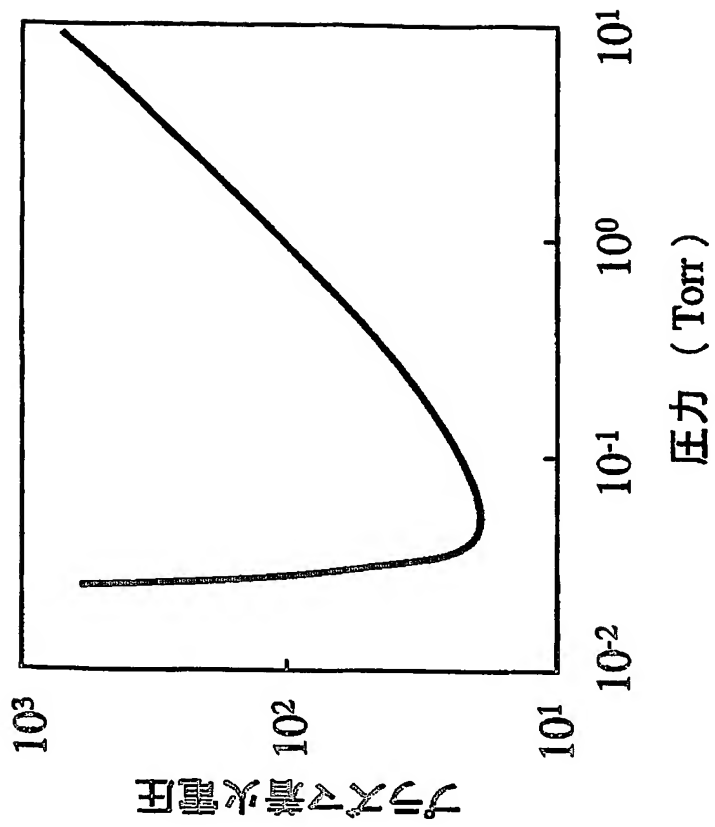


【図 8】

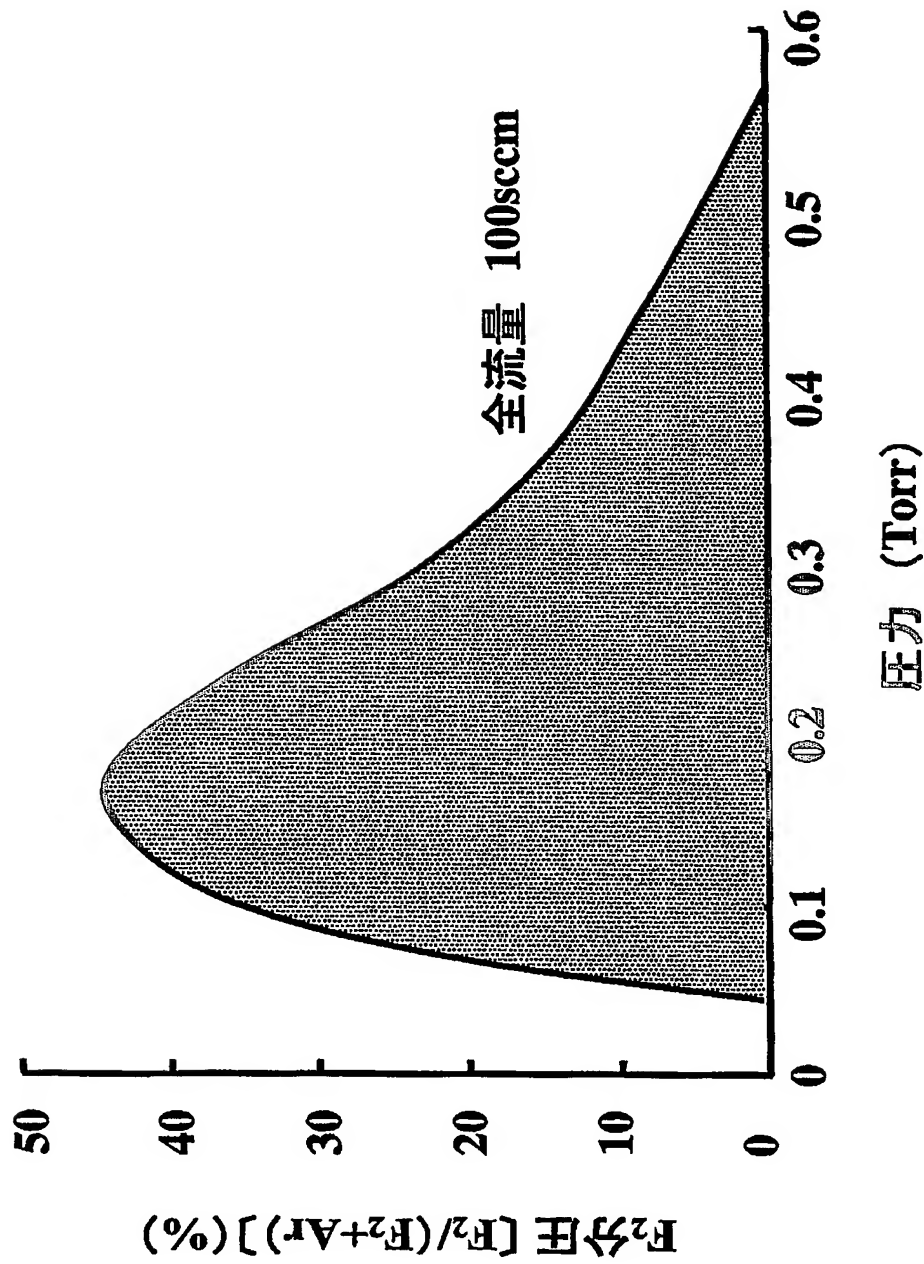


Best Available Copy

【図 9】

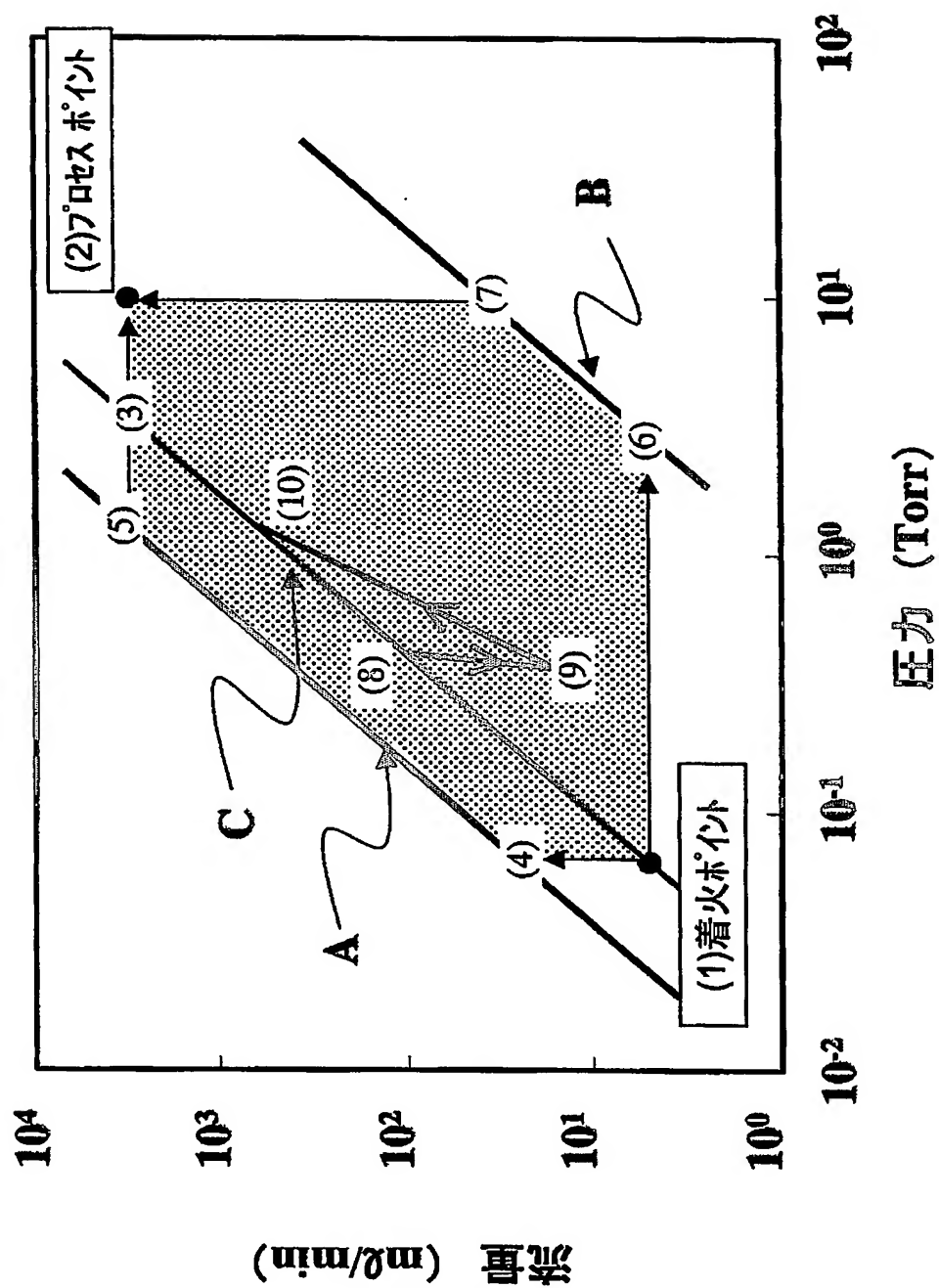


【図 10】

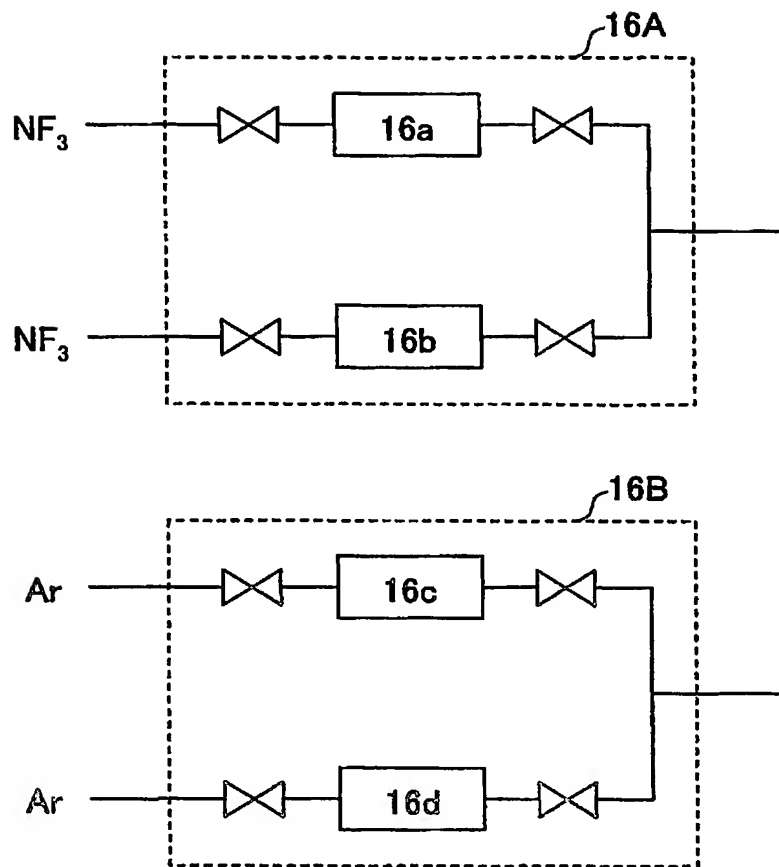


Best Available Copy

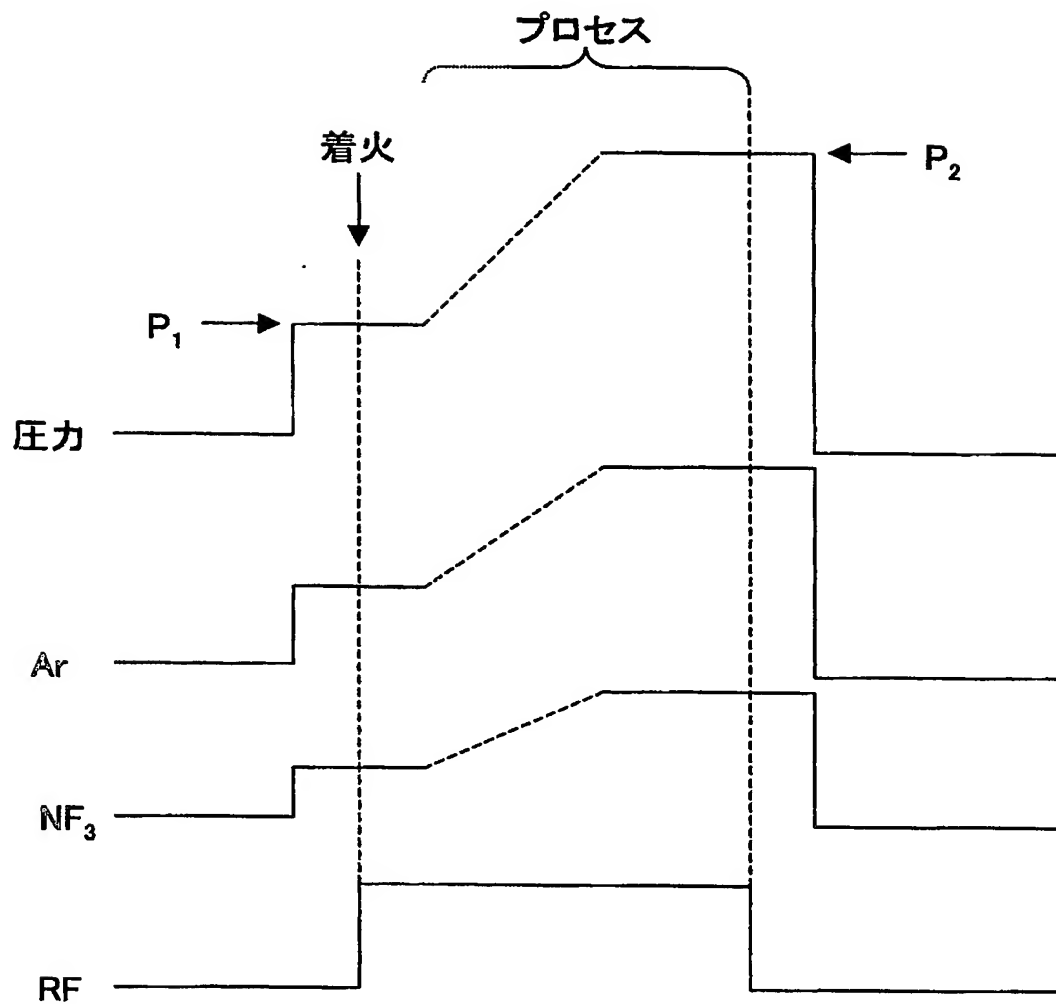
【図 11】



【図 12】



【図 13】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 トロイダル型プラズマ発生装置において、 NF_3 ガスを供給した状態でプラズマを着火させ、着火したプラズマを使ってプロセスを実行する。

【解決手段】 プラズマ発生装置のガス通路中に、少なくとも5%の NF_3 を含むArガスと NF_3 ガスの混合ガスを、プラズマが着火する第1の圧力において供給し、前記コイルを高周波電力により駆動してプラズマを着火し、前記ガス通路中における前記混合ガスの全圧を、前記プラズマを維持しつつ、前記プロセスが実行される第2の圧力まで増大させる。

【選択図】 図10

特願 2 0 0 3 - 1 8 5 1 6 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 2 1 9 9 6 7]

1. 変更年月日

2 0 0 3 年 4 月 2 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都港区赤坂五丁目3番6号

氏 名

東京エレクトロン株式会社